

学校编码: 10384

分类号__密级__公开

学号: X2010230190

UDC__

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

大型并网光伏电站计算机监控
系统设计与实现

Design and Implementation of Computer Monitor System in
Large Scale Grid-connected PV Power Plant

孙玉泰

指导教师姓名: 龙 飞 副 教 授

专 业 名 称: 软 件 工 程

论文提交日期: 2012 年 5 月

论文答辩日期: 2012 年 6 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2012 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ☒ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

在世界各国竞相发展绿色可再生能源的今天，太阳能凭借其独特的优点受到了一致的青睐。开发利用太阳能成为各国制定可持续发展战略的重要内容，光伏发电已成为解决能源短缺和环境污染的重要途径之一。由于光伏电站一般建设在偏僻地区，现场查看不便，光伏电站计算机监控系统成为管理光伏电站的必备工具。

本文以光伏电站计算机监控系统为研究对象，从需求分析、系统设计、功能实现、集成测试等方面对监控系统的主要功能、平台架构等进行了设计及研究。本文详细分析了监控系统的开发设计方案。重点给出了网络通信管理、数据库管理、系统运行管理等统一应用支撑平台的设计过程，以及 SCADA 数据处理、人机界面、AGC、光伏功率预测等监控主要功能设计及实现方法。

关键词：太阳能；并网光伏电站；计算机监控系统

Abstract

Many countries began to develop renewable green energy resources in recently, and solar energy is accepted commonly because of its unusual advantages. Today the developing and using solar energy has become the countries to implement an important basis for the sustainable development strategy, and photovoltaic electricity generation is one of the main ways of resolving the problem of world energy crisis and environment pollution. It is not easy to learn the information of the whole station because the PV power plant is normally built in the remote rural area, so the computer monitor system becomes the necessary manager tool for the whole power plant.

This paper focuses on photovoltaic monitor system. The platform architecture and the main functions are analyzed and studied in the aspect of requirement analysis, system design, function realization and integration test. The system design and development process are described in details in this paper, including network communication management, database management, system operation management, SCADA, HMI, AGC, photovoltaic system power forecasting.

Keywords: Solar Energy; Grid-connected Photovoltaic Power Plant; Computer Monitor System

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 项目开发背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.3 主要研究内容	3
1.4 论文章节安排	4
第 2 章 关键技术介绍	5
2.1 光伏功率预测	5
2.2 自动发电控制 AGC	5
2.3 综合数据可视化	6
2.4 本章小结	6
第 3 章 系统需求分析	7
3.1 业务需求分析	7
3.2 功能需求分析	8
3.2.1 环境需求	8
3.2.2 功能需求	9
3.3 非功能性需求分析	11
3.3.1 系统的性能需求	11
3.3.2 系统安全性需求	12
3.3.3 其他需求	12
3.4 本章小结	14
第 4 章 系统总体设计	15
4.1 软件架构设计	15
4.2 总体功能模块设计	16
4.3 数据库设计	17

4.4 本章小结	18
第 5 章 系统详细设计与实现	20
5.1 网络通信管理	20
5.1.1 网络中间件模块设计	21
5.1.2 网络应用接口模块设计	23
5.1.3 运行监视管理模块设计	25
5.2 数据库管理	26
5.2.1 实时库存储设计	28
5.2.2 分区文件	30
5.3 系统运行管理	32
5.3.1 功能概述	32
5.3.2 系统启动与停止模块设计	34
5.3.3 系统监视与控制模块设计	34
5.4 SCADA 数据处理	36
5.4.1 功能概述	36
5.4.2 SCADA 访问接口子模块设计	36
5.4.3 遥信数据采集与处理模块	38
5.4.4 遥测数据采集与处理模块	39
5.4.5 遥脉数据采集与处理模块设计	40
5.4.6 遥控处理模块设计	41
5.5 自动发电控制 AGC	43
5.5.1 功能概述	43
5.5.2 控制流程	43
5.5.3 AGC 主控子模块设计	45
5.5.4 量测和计划获取子模块设计	46
5.5.5 AGC 数据统计子模块设计	48

5.5.6 PLC 控制功率设定子模块设计	48
5.5.7 PLC 控制命令下发子模块设计	51
5.6 光伏功率预测	52
5.6.1 光伏功率预测系统拓扑	52
5.6.2 光伏功率预测系统总体结构.....	53
5.6.3 实时气象采集系统	54
5.6.4 数值天气预报	55
5.6.5 实时电气量采集子系统	55
5.6.6 功率预测软件系统	55
5.7 人机界面.....	57
5.7.1 体系架构	58
5.7.2 图元编辑工具设计	59
5.7.3 画面编辑工具设计	60
5.7.4 在线运行设计	63
5.8 本章小结.....	65
第 6 章 系统测试	66
6.1 测试规划.....	66
6.1.1 测试方法选择	66
6.1.2 测试环境	67
6.1.3 测试进度安排	67
6.2 测试用例.....	68
6.3 测试结果.....	74
6.4 本章小结.....	74
第 7 章 总结与展望	75
7.1 总结	75
7.2 展望	75

参考文献.....	77
致谢.....	78

厦门大学博硕士论文摘要库

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background and Significance	1
1.2 Research Status.....	2
1.3 Research Contents	3
1.4 Thesis Structure	4
Chapter 2 Key Technologies	5
2.1 Solar Photovoltaic Power Forecast.....	5
2.2 Automatic Generation Control	5
2.3 Integrated Data Visualization	6
2.4 Summary	6
Chapter 3 System Requirement Analysis	7
3.1 Business Requirement Analysis	7
3.2 Function Requirement Analysis.....	8
3.2.1 Environment Requirement	8
3.2.2 Function Requirement	9
3.3 Non-functional Requirement Analysis	11
3.3.1 Performance Requirement.....	11
3.3.2 Security Requirement	12
3.3.3 Other Requirement.....	12
3.4 Summary	14
Chapter 4 Overall Design	15
4.1 Software Architecture Design.....	15
4.2 Function Modeule Design	16
4.3 Database Design	17
4.4 Summary	18
Chapter 5 Detailed System Design and Implementation	20

5.1 Management of Network Communication	20
5.1.1 Network Middleware Design	21
5.1.2 Network API Design.....	23
5.1.3 Supervision and Management Design	25
5.2 Database Management	26
5.2.1 Storage Design of RTDB.....	28
5.2.2 Data Partition File.....	30
5.3 System Operation Management	32
5.3.1 Function Introduction	32
5.3.2 Start/Stop Design	34
5.3.3 Monitor/Control Design	34
5.4 SCADA	36
5.4.1 Function Introduction	36
5.4.2 Design of Access Interface.....	36
5.4.3 Digital Data Acquisition and Processing.....	38
5.4.4 Analog Data Acquisition and Processing	39
5.4.5 Pulse Data Acquisition and Processing	40
5.4.6 Design of Ctrol Processing.....	41
5.5 AGC.....	43
5.5.1 Function Introduction	43
5.5.2 Ctrol Process	43
5.5.3 Design of AGC Main Control Module	45
5.5.4 Design of Analog and Schedule Requirement	46
5.5.5 Design of Data Statistics	48
5.5.6 Design of PLC Power Setting	48
5.5.7 Design of PLC Ctrol Processing	51
5.6 Photovoltaic Power Forecast	52

5.6.1 System Topology	52
5.6.2 System Structure	53
5.6.3 Real-time Weather Data Acquisition System	54
5.6.4 Digital Weather Forecast	55
5.6.5 Real-time Electric Measurement Acquisition	55
5.6.6 Power Forecasting System	55
5.7 Human-machine Interface	57
5.7.1 System Structure	58
5.7.2 Icon Editor Design	59
5.7.3 Picture Editor Design	60
5.7.4 Online Design	63
5.8 Summary	65
Chapter 6 System Test	66
6.1 Test plan	66
6.1.1 Test Method	66
6.1.2 Test Environment	67
6.1.3 Test Schedule	67
6.2 Test Case	68
6.3 Test Results	74
6.4 Summary	74
Chapter 7 Conclusions and Future Work	75
7.1 Conclusions	75
7.2 Future Work	75
References	77
Acknowledgements	78

第1章 绪论

随着人类社会的不断发展与传统化石能源的不断减少,世界各国多年来一直致力于寻找新的能源解决方案。太阳能是一种天然的绿色新能源,它拥有安全、清洁、永不衰竭的优势。

1.1 项目开发背景及意义

权威研究数据显示,按照目前的消费速度,全球已探明石油储量仅够使用 40 年,天然气仅够使用 60 年,寻找新能源替代化石燃料,迫在眉睫。另一方面,传统能源燃烧过程中产生的二氧化碳和二氧化硫等气体,是导致温室效应和大气污染的主要来源。为应对常规能源紧缺和生态环境恶化,世界各国都在积极研究和开发利用新能源,大力发展低碳经济。在这种环境下,以清洁、可再生能源为主的新能源结构将逐渐取代以资源紧缺、污染严重的化石能源为主的旧能源结构,新能源发电技术将得到快速发展和应用。

我国幅员辽阔,具备非常丰富的太阳能资源,太阳能光伏发电的开发潜力巨大。按照 2011 年 10 月份出台的《“十二五”太阳能光伏产业发展规划》,太阳能发电装机目标为到 2015 年达 1000 万千瓦,到 2020 年达到 5000 万千瓦。随后国家能源局 2011 年 12 月 15 日公布了我国可再生能源发展的“十二五”规划目标。根据该目标,太阳能发电到 2015 年将达到 1500 万千瓦,年发电量 200 亿千瓦时,较之前的 1000 万千瓦提高了 50%,较 2011 年年初规划的 500 万千瓦更是提高了 200%。据工信部光伏产业规划,十二五期间我国光伏发电装机容量年均增长率将超 165%。

未来十几年,光伏发电将进入快速发展阶段,大规模的光伏电站需要接入电网。光伏发电只在白天发电且极易受天气变化影响,具有波动性和间歇性,大规模光伏电站并网运行会对电网运行和调度有一定的影响,关系着电力系统的安全稳定经济运行。特别是我国大部分光伏电站建在太阳能资源比较丰富的地区,这类地区电网结构较薄弱,地区负荷小,而单个接入点光电接入容量很大,这都给光伏发电并网运行带来很大挑战。为了解决大规模光伏发电接入电网带来的影响,可以从以下方面入手:电网输送能力、

电源侧优化运行、负荷侧管理与储能、光伏发电功率预测等。

光伏电站监控系统可对太阳能电站内的光伏阵列、直流汇流箱、直流配电柜、并网逆变器、35kV 箱式变进行实时监测和控制，站内运行人员通过人机交互界面可以快速掌握电站的运行情况。系统实现了就地监控和信息管理的重要功能，减轻了运行维护人员的工作强度，为提高电站的稳定性和可靠性提供了强有力的技术平台和支撑。

1.2 国内外研究现状

光伏产业发展迅猛，为了研究这些光伏发电系统的运行性能、优化设计光伏电站，光伏电站计算机监控系统技术也随着光伏产业的发展而深入开展。

国外在 90 年代前后对监控系统进行了深入研究，基本上形成了比较成熟的思路。国外研究现状的几个典型特征是：在系统控制方面研究的比较多，对系统维护和管理相对较少；对并网型研究较多，而对独立运行研究相对较少。并且每次研究都是针对解决某一类特殊的问题而进行的部分系统数据量采集和分析。

美国国家可再生能源实验室在 95 年对两座 6kW 并网型光伏电站进行数据采集和分析。其工作主要包含：对两座光伏电站进行了为期一年的数据采集，得出各参数之间的数学关系（主要是电气参数与气候条件之间的关系）。由气候条件算出理论值和实际值之间进行比较并分析其可能的原因，并评价了各器件的效率问题。

国际能源机构光伏发电系统项目开展了 Task2 行动，这次任务的主要目的是为光伏专家、研究实验室、光伏厂家、用户以及其它团体提供与光伏系统及子系统的运行性能、可能性及成本等相关的详细信息，并且已经建立了国际上不同方式的光伏发电系统的技术数据和运行数据的数据库。到目前为止，该数据库包含了 372 个被监测的光伏电站，这些电站用于不同的应用。该数据库中存储了被选择的光伏电站的详细系统特性和监测数据。

国内也已开展了光伏电站数据采集及监控技术的研究工作。合肥工业大学能源研究所开发了光伏并网发电系统的数据采集和监控软件包。

中科院电工所以“组态王”为软件开发平台，采用集散控制思想开发出一套并网光伏电站分布式数据采集监测系统。系统以 RS-485 总线为骨干，采用分层分布式的方式

构建了监测系统现场网络。

1.3 主要研究内容

本论文以并网光伏电站计算机监控系统为研究对象，从监控系统的结构、软件平台架构、自动发电控制、光伏功率预测等方面进行深入研究。主要进行以下的工作：

(1) 监控系统的结构及其实现方法的研究

系统由三层控制设备和两层网络设备组成，“三层”控制设备包括：现地层设备、控制层设备和站控层设备，网络层包括场站层网络和控制层网络。站控层和控制层设备布置在监控系统主控制楼内的计算机室及主控制室内，现地层设备分散布置在发电站各个逆变器室内。

控制层网络采用光纤 100Mbps 工业以太网结构，单网配置，发电单元控制层网络由光纤以太环网组成；站控层网络采用光纤双 100Mbps 工业以太网结构，双机、双网、双通道冗余设计结构。

(2) 开放式平台架构的研究

平台提供分布式实时数据库管理、协调的人机交互界面、网络消息传递、进程间通信、系统管理、报警与事件、数据转发等服务。平台的设计遵从分布式原则，每一个应用模块可以在分布式环境下运行，可以对其进行维护或进一步的开发，而对应用环境中的其它部分的影响最小。

平台遵从操作系统、数据库、图形用户界面和网络通信协议的相关国际和工业标准，保证系统随时紧跟最新技术的发展。作为一个真正开放的系统，可以发布在多种硬件平台和操作系统，以满足特定的用户需求。

(3) 数据采集及处理的研究

光伏电站现地装置包括汇流柜、直流柜、逆变器、箱式变压器组合均配置有测控单元，电站计算机监控系统通过在逆变器室数据采集柜配置智能串口通信装置采集现场设备实时运行数据。智能接口装置通过控制层以太网并将这些实时数据带品质描述传送至控制层主机。

监控系统对模拟量测值进行越限检查与报警，记录越限点号、发生时间，越限值存

入数据库；对开关量在发生变位时，记录其动作顺序、事故发生时间(年、月、日、时、分、秒及毫秒)、事故名称、事件性质，并根据规定产生报警和报告。

(4) 自动发电控制 AGC 的研究

自动发电控制应根据全厂负荷的要求，在遵循最少操作断路器次数、并满足发电单元各种运行限制条件的前提下确定最佳发电单元运行组合。在自动发电控制时，能够实现电站发电单元的自动开、停机功能。

(5) 光伏功率预测模型及算法研究

光伏功率预测系统是用来预测光伏电站未来一段时间内输出功率的系统。预测系统基于高精度数值天气预报（Numerical weather prediction，简称 NWP）的数据服务，根据现场采集的监控数据和环境数据及其历史统计数据，经过物理模型或者人工神经网络（Artificial neural network，简称 ANN）模型计算得出较为可信的预测结果。

1.4 论文章节安排

论文的具体研究内容和章节安排如下：

第一章首先概括了国内外光伏电站计算机监控系统的研究现状，明确了论文主要研究内容。

第二章主要介绍了本文采用的三项关键技术：光伏功率预测、自动发电控制和综合数据可视化。

第三章对监控系统的总体需求进行了详细分析，明确了系统需要实现的功能。

第四章主要对系统的总体架构进行了设计，采用分层、分布式设计原则，包括统一应用支撑平台和基于该平台一体化设计开发的光伏电站计算机监控应用。

第五章描述了系统核心模块的设计思想及实现方法。

第六章采用核心系统先行集成的测试方法对监控系统进行了测试。

第七章对全文进行了总结，并对未来需进一步研究的工作进行了展望。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库